

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:

$T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$.

Biodiesel uit algen

In het project Algaeparc van Wageningen University & Research wordt onderzoek gedaan naar de productie van biodiesel uit algenolie. Algenolie is een mengsel van triglyceriden, dat in een aantal stappen in de algen wordt gevormd:

- Door fotosynthese ontstaat eerst glucose, waarbij tevens zuurstof ontstaat.
- Glucose wordt vervolgens met een **deel** van deze zuurstof volledig omgezet tot pyrodruivenzuur ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$) en water.
- Pyrodruivenzuur wordt ten slotte omgezet tot algenolie.

Uit het onderzoek bleek onder andere dat de algengroei wordt geremd door de ontstane zuurstof. Bij een bepaalde algensoort neemt de vorming van algenolie sterk af als het gehalte zuurstof, dat na de omzettingen is overgebleven in de bioreactor, hoger is dan $44,2 \text{ g m}^{-3}$.

De algen groeien in een buisvormige bioreactor die afgesloten is van de buitenlucht.

- 2p **1** Geef de reactievergelijking van de omzetting van glucose tot pyrodruivenzuur.
- 4p **2** Bereken de massa in gram pyrodruivenzuur die maximaal per liter is ontstaan als het gehalte zuurstof in de bioreactor $44,2 \text{ g m}^{-3}$ bedraagt. De molaire massa van pyrodruivenzuur bedraagt $88,1 \text{ g mol}^{-1}$.

De onverzadigde vetzuren die in de triglyceriden van algenolie zijn gebonden, hebben enkele structuurkenmerken gemeenschappelijk:

- De $\text{CH}=\text{CH}$ -groepen hebben uitsluitend de *cis*-configuratie.
- In de koolwaterstofrest bevindt zich een herhalende atoomgroep die vereenvoudigd kan worden weergegeven als $-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)-$.

Een voorbeeld van een veelvoorkomend vetzuur in algenolie is linolzuur. Linolzuur kan worden aangeduid met de verkorte notatie 18:2 ω -6.

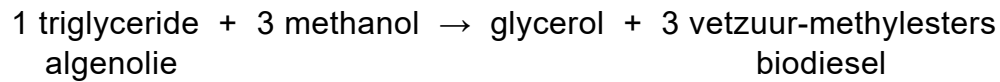
Deze verkorte notatie geeft informatie over:

- het totaal aantal C-atomen: 18;
- het aantal C=C-bindingen: 2;
- het plaatsnummer van de eerste $\text{CH}=\text{CH}$ -groep vanaf de CH_3 -groep.

Het vetzuur DHA in de algenolie heeft als verkorte notatie 22:6 ω -3.

- 3p **3** Teken de structuurformule van DHA. Houd hierbij rekening met de stereochemie.

Als er voldoende algen zijn gekweekt, wordt de algenolie uit het mengsel geëxtraheerd. Biodiesel wordt verkregen door de reactie van algenolie met methanol. Deze reactie is hieronder vereenvoudigd weergegeven met de juiste coëfficiënten.



Bij een proefproductie werd 500 g algenolie en voldoende methanol ingevoerd. De gemiddelde molaire massa van algenolie was 884 g mol^{-1} .

Op deze wijze werd 0,392 L biodiesel verkregen.

De dichtheid van de geproduceerde biodiesel is $0,874 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ met een gemiddelde molaire massa van 296 g mol^{-1} .

- 5p **4** Bereken het rendement van de vorming van biodiesel.
Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Op de uitwerkbijlage is het blokschema van de omzetting van algenolie tot biodiesel onvolledig weergegeven.

Aan een reactor (R1) met daarin het enzym lipase worden de algenolie en een ondermaat methanol toegevoegd.

In een scheidingsruimte (S1) wordt de ontstane glycerol gescheiden van de overige stoffen.

De omzetting van de algenolie is na één reactor niet volledig. Door om en om meerdere reactoren en scheidingsruimtes te plaatsen, wordt een zo hoog mogelijke omzetting bereikt. De ondermaat methanol is zo gekozen dat de hoeveelheid methanol na elke reactor te verwaarlozen is.

In het uiteindelijke proces werden 10 reactoren en scheidingsruimtes gebruikt.

In het blokschema is met één blok de herhaling van reactoren R2 t/m R9 en scheidingsruimtes S2 t/m S9 aangegeven.

In R10 wordt een overmaat methanol toegevoegd zodat de algenolie volledig wordt omgezet tot biodiesel. In S10 wordt ten slotte biodiesel afgescheiden van het mengsel afkomstig uit R10.

- 3p **5** Maak op de uitwerkbijlage het blokschema compleet.
- Teken R10 en S10.
 - Teken de ontbrekende pijlen.
 - Geef bij alle pijlen de ontbrekende stofstromen aan met de volgende nummers:
 - 1 algenolie
 - 2 biodiesel
 - 3 glycerol
 - 4 methanol